

UDK: 631.372

## DEFLEKSIONI OTPORI POGONSKIH PNEUMATIKA POLJOPRIVREDNIH TRAKTORA I NJIHOV UTICAJ NA VUČU NA POLJOPRIVREDNIM PODLOGAMA

**Vladimir Muzikravić, Dragan Ružić, Nenad Poznanović**

*FTN - Departman za mehanizaciju i konstrukciono mašinstvo - Novi Sad*

**Sadržaj:** U radu se utvrđuje uolikoj meri korišćenje pogonskih pneumatika poljoprivrednog traktora sa manjim otporima kotrljanja može da dovede do poboljšanja pokazatelja vuče. Prvenstveno se razmatra defleksioni otpor, komponenta otpora kotrljanja koja je direktno uslovljena konstrukcijom pneumatika, a koju je relativno lako izmeriti.

Eksperimentalnim putem su određeni defleksioni otpori i karakteristike kontaktne površine dva pneumatika 12.4R28 različitih proizvođača, te numeričkom analizom utvrđen njihov uticaj na pokazatelje vuče traktora. Dobijeni rezultati su ukazali na značajne razlike ovih otpora, te da se kao jedan od upotrebljivih kriterijuma za izbor pogonskih pneumatika poljoprivrednih traktora može primeniti i izbor onih sa manjim defleksionim otporima i dužom kontaktnom površinom. Za ispitivane pneumatike utvrđena je razlika u efikasnosti vuče od oko 4 % na uzoranim i mekim podlogama.

**Ključne reči:** *otpor kotrljanja, defleksija, pneumatik, kontaktna površina, vuča.*

### UVOD

Smanjenje bilo koje komponente otpora kretanja traktora daje potencijalnu mogućnost poboljšanja njegovih vučnih pokazatelja. Smanjenje defleksionih otpora može se smatrati najjednostavnijim načinom smanjenja ukupnih otpora jer je direktno vezano za mogućnost korišćenja unapred odabranih pneumatika kod kojih su ovi otpori najmanji.

Defleksioni otpor predstavlja deo otpora kotrljanja elastičnog točka nastao usled histerezisnih gubitaka tokom makro i mikro deformisanja pneumatika prilikom njegovog kotrljanja. Uticaj defleksionih otpora na vuču po tvrdim i sabijenim podlogama je nesumnjiv, s obzirom da je to praktično jedini otpor kretanja pri jednolikom kretanju traktora po horizontalnoj podlozi /10/, /9/.

Pored defleksionog, ukupni otpor kretanja elastičnog točka po mekanoj - deformabilnoj podlozi sastoji se još i od otpora koji nastaje kao posledica vertikalne

deformacije - sabijanja podloge, otpora nastalog usled njene horizontalne deformacije – potiskivanja (guranja) čestica zemlje ispred točka, kao i otpora povlačenja čestica zemlje. Uticaj defleksionih otpora na vuču na mekanim podlogama je uslovno rečeno sakriven u ukupnom otporu kretanja točka. Ne postoje literaturni podaci koji bi ukazali na to koliki je udeo defleksionih otpora u ukupnim otporima kretanja na različitim poljoprivrednim podlogama, mada je očigledno da će njihov uticaj na ukupne otpore rasti sa porastom vertikalne nosivosti (sabijenosti) podloge. Manji ukupni otpori kretanja, na svim podlogama sem tvrde, ne znače automatski i realno veće vučne sile i bolju efikasnost vuče, s obzirom na to da manji defleksioni otpori mogu da ukažu i na kruće bokove pneumatika te manju kontaktnu površinu između točka i podloge, koja opet sa svoje strane dovodi do manje vučne sile bez obzira što su otpori kotrljanja manji. Zato bi pri poređenju defleksionih otpora različitih pneumatika pri analizi vuče na mekanim podlogama trebalo uporediti i parametre njihovih kontaktnih površina koji pored uticaja na otpore kretanja utiču i na intenzitet realizovanih vučnih sila. Uticaj defleksionih otpora na vuču na tvrdim i sabijenim podlogama prethodno je detaljno razmotren /9/, te se ovaj rad može smatrati nastavkom razmatrane problematike.

## MATERIJAL I METOD RADA

Metodika istraživanja zasnovana je na identifikovanju i određivanju parametara pneumatika koji utiču na intenzitet generisanih otpora, kao i potencijalnih vučnih sila, pri kretanju elastičnog točka na deformabilnoj podlozi. Pri ovome, razmatraju se uporedni pokazatelji vuče dva radijalna pneumatika 12.4R28 različitih proizvođača, istog dezena gazećeg sloja (R1), čije se potencijalne vučne karakteristike upoređuju na istim podlogama (uzoranoj i mekoj) pri istim uslovima kretanja. Pneumatici koji se razmatraju u radu su označeni kao *pneumatik 1* i *pneumatik 2*.

### Vučna sila

Najveća vučna sila pogonskog točka proporcionalna je maksimalnoj smicajnoj sili koju pneumatik generiše u kontaktu sa podlogom, a čija je vrednost za optimalno klizanje prema Mohr-Coulombovoj teoriji /5/ može izraziti kao:

$$H = A \cdot c + W \cdot \operatorname{tg} \Phi \quad \dots\dots\dots (1)$$

gde su:

$A$  – veličina smičuće površine (površina otiska točka)

$c$  – kohezija podloge

$W$  – vertikalno opterećenje na smičuću površinu (vertikalno opterećenje točka)

$\Phi$  – ugao unutrašnjeg trenja (frikcije) podloge

### Otpor sabijanja podloge

Otpor sabijanja podloge (2) od strane točka dobijen je korišćenjem pretpostavke da je reakcija podloge u svim tačkama kontakta radijalna i jednaka normalnom pritisku koji deluje na ploču iste širine kao točak, a utisnute na istu dubinu kao točak. Određen je na osnovu energetskog bilansa, polazeći od toga da je intenzitet ovog otpora posledica rada utrošenog na formiranje traga dubine  $z_0$ :

$$R_c = \frac{b \cdot (p_i + p_c)^{\frac{n+1}{n}}}{(n+1) \cdot \left( \frac{k_c}{b} + k_\phi \right)^{\frac{1}{n}}} \dots\dots\dots (2)$$

gde su:

- $k_c$ ,  $k_\phi$  i  $n$  parametri mehaničke nosivosti podloge, tj. respektivno, modul kohezije, modul frikcije i eksponent prodiranja /5/
- $b$  - širina traga pneumatika
- $p_i$ ,  $p_c$  - pritisak vazduha i pritisak karkasa pneumatika

### Otpor potiskivanja

Otpor potiskivanja (guranja) čestica zemlje ispred točka prilikom njegovog kretanja  $R_b$  dobijen je na osnovu analogije za slučaj kada se vertikalna ravna ploča utiskuje u zemlju i vuče kroz nju, pri čemu se javlja horizontalna sila otpora.

$$R_b = b \cdot \left( c \cdot z_0 \cdot K_{pc} + 0.5 \cdot z_0^2 \cdot \gamma_s \cdot K_{py} \right) \dots\dots\dots (3)$$

$$z_0 = \left( \frac{\frac{p_i + p_c}{k_c/b + k_\phi}}{\frac{k_c}{b} + k_\phi} \right)^{\frac{1}{n}} \dots\dots\dots (4)$$

gde su:

- $z_0$  – tonjenje točka
- $\gamma_s$  – specifična težina podloge
- $K_{pc}$  i  $K_{py}$  – Terzagijevi parametri nosivosti podloge

### Otpor povlačenja čestica

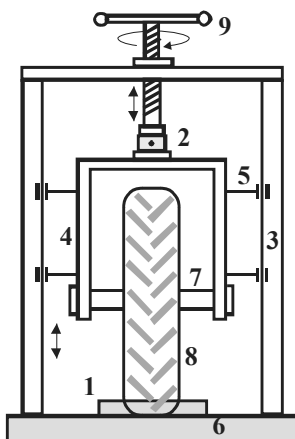
Otpor usled povlačenja čestica javlja se prilikom kretanja točka po koherentnim veoma raskvašenim podlogama kada dolazi do izraženog lepljenja čestica zemlje za točak. Prilikom dodira između čestica zalepljenih za točak i čestica podloge dolazi do javljanja smicajnih napona i određenih energetske gubitaka koji se manifestuju kao otpor povlačenja čestica. Ovaj otpor kod poljoprivrednih traktora nije od značaja s obzirom da se javlja pri uslovima kretanja kada se poljoprivredna mehanizacija po pravilu ne koristi, te ovde nije razmatran.

### Parametri kontaktne površine

Veličina kontaktne površine pneumatika na mekoj podlozi određivana je utiskivanjem pneumatika u vlažnu peskovitu podlogu. Postupak se sastojao iz vertikalnog opterećivanja pneumatika do zadate sile, formiranja i fotografisanja otisaka, te njegovog planimetrisanja. Za pritiske vazduha od 0.6-1.1 bar pneumatici su opterećivani vertikalnim opterećenjem od 480, 570 i 660 daN, što pokriva dijapazon realnih opterećenja traktora IMT 539 /9/.

Nanošenje opterećenja na pneumatik vršeno je preko namenskog uređaja - mernog rama prikazanog na *Sl.1.* Uređaj omogućuje vertikalno opterećivanje pneumatika (*poz. 8*) oslonjenog na površinu postolja rama (*poz. 6*) – tj. posudu sa vlažnim peskom za uzimanje otiska (1), uz nanošenje definisanog vertikalnog opterećenja preko navojnog vretena (*poz. 9*). Vertikalno opterećenje pneumatika mereno je preko davača sile (*poz. 2*). Točak sa pneumatikom je pri ovome putem osovine sa ležajevima (*poz. 7*) postavljen u vertikalno pokretni ram (*poz. 4*) koji je pomoću klizača (*poz. 5*) vezan za osnovni ram uređaja (*poz. 3*).

Za merenje sile utiskivanja pneumatika korišćeni su davač sile na bazi mernih traka Philips PR6200/53A, merni opseg 0÷50 kN, klase tačnosti 0.2 i digitalno merno pojačalo HBM UPM-60.



*Sl. 1. Uređaj za opterećivanje točka*

## REZULTATI ISTRAŽIVANJA SA DISKUSIJOM

### Identifikovanje parametara pneumatika koji utiču na vuču

Kao što je vidljivo iz izraza za vučnu silu (1), povećanje kontaktne površine  $A$  dovodi do prenošenja veće kohezione sile preko veće površine kontakta, te smanjenja klizanja uz efikasniju vuču /6/ za ostale nepromenjene uslove kretanja. Porast sile zavisiće od kohezionih svojstava podloge, tako da se najveće povećanje vučne sile može očekivati kod kohezionih podloga, a nešto manje kod koheziono frikcionih. Kod frikcionih podloga, koje ne spadaju u tipične poljoprivredne podloge, povećanje kontaktne površine neće se odraziti na poboljšanje vuče s obzirom da kod njih dominantan uticaj na povećanje sile otpora smicanju ima vertikalno opterećenje  $W$ .

Na osnovu relacije (2) očigledno je da će otpor sabijanja podloge biti veći ako su veći širina pneumatika, pritisak vazduha u njemu i pritisak karkasa.

U izrazu za otpor potiskivanja čestice zemlje ispred točka (3) uočljivo je da veličina ovog otpora raste sa porastom širine pneumatika i dubine njegovog tonjenja. Veća širina pneumatika, kao i veći pritisak vazduha i pritisak karkasa utiču na veću dubinu tonjenja točka (4).

Defleksioni otpor takođe utiče na otpor kretanja po mekim podlogama. Za iste uslove eksploatacije (brzina, klizanje, raspored osovinских opterećenja) na istoj podlozi, otpor kretanja traktora sa pneumaticima iste oznake i dezena a različitih proizvođača ili različite konstrukcije (radijalni ili dijagonalni) zavisiće od konstrukcionih karakteristika pneumatika koje se ogledaju u karakteristikama njihove krutosti koje su funkcija pritiska vazduha. Nazivne dimenzije pneumatika (prečnik i širina) različitih proizvođača iste oznake na istim naplacima, s obzirom da su standardizovane veličine, biće iste /3/, /7/. Kako vrednost pritiska u pneumaticima zavisi od vertikalnog opterećenja točka, ova vrednost se propisuje od strane proizvođača pneumatika. Po pravilu vrednosti pritiska za pneumatike istih oznaka a različitih proizvođača za ista opterećenja su iste. Iz navedenog proističe da je pri poređenju pneumatika iste oznake a različitih proizvođača sa aspekta njihovog otpora kretanja potrebno utvrditi razliku u njihovim defleksionim otporima pri istim vertikalnim opterećenjima. Korišćenjem numeričkih modela vuče nije moguće utvrditi razlike u otporima kretanja različitih pneumatika istih dimenzija i konstrukcije. Rezultati prethodnih ispitivanja /9/ ukazali su da su defleksioni otpori *pneumatika 1* manji za gotovo 35% nego defleksioni otpori *pneumatika 2*, tj. ako se sile defleksionih otpora  $F_d$  izraze kao

$$F_d = \frac{W \cdot u}{p_i^a} \dots\dots\dots (5)$$

parametri jednačine  $u$  i  $a$  koji zavise od krutosti pneumatika, za *pneumatik 1* iznose 0.0280509 i 0.416424, a za *pneumatik 2* su 0.0373601 i 0.4368262, respektivno /9/.

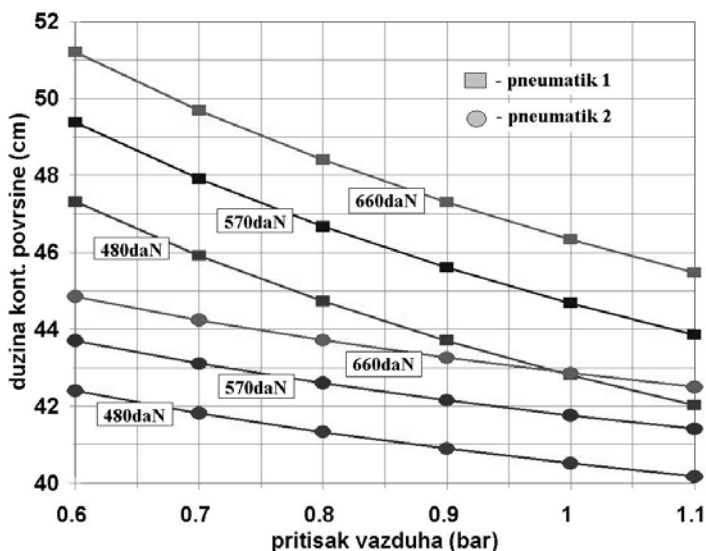
Veća vrednost pritiska karkasa dovodi do većeg otpora kretanja na mekim podlogama (2), (4). Kako je ukupan pritisak na podlogu  $W/A = p_i + p_c$ , ako posmatramo dva pneumatika opterećena istim vertikalnim opterećenjem  $W$  i sa istim pritiskom vazduha  $p_i$ , pritisak karkasa biće manji kod onog pneumatika koji ima veću kontaktnu površinu, te će i njegov otpor kretanja biti manji. Međutim kako i širina pneumatika utiče na otpore kretanja, prethodna konstatacija važiće samo za slučaj ako je veća kontaktna površina posledica njene veće dužine, tj. manje širine.

Zbog ovoga se kod pneumatika istih dimenzija pri istim pritiscima vazduha i opterećenjima, uticaj pritiska karkasa na otpore kretanja može svesti na utvrđivanje karakteristika kontaktne površine. Pri ovome će pneumatik sa manjim defleksionim otporom koji ima isti ili manji pritisak karkasa a nema širu kontaktnu površinu izvesno imati manje otpore kretanja na svim podlogama. Ovaj pneumatik će imati i bolja potencijalna vučna svojstva na svim podlogama, s obzirom na dužu kontaktnu površinu sa više rebra u zahvatu. Njegova vuča će na poljoprivrednim podlogama biti bolja, ako ne i zbog boljeg vučnog potencijala usled duže kontaktne površine, onda svakako zbog manjih otpora kretanja.

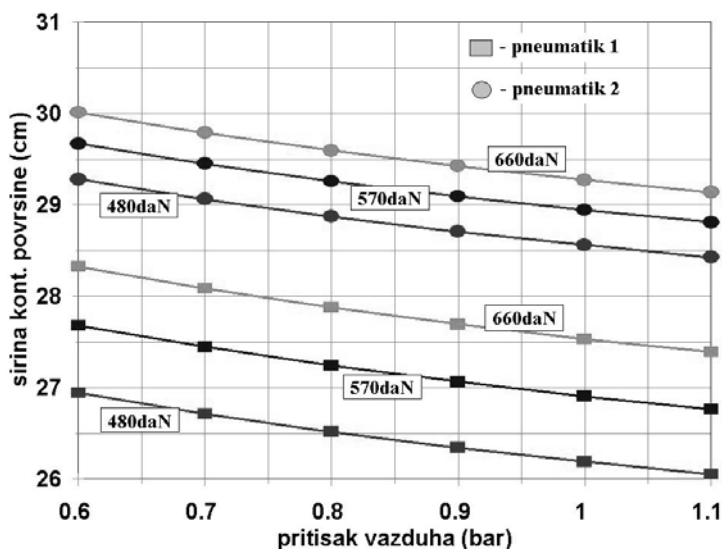
### Parametri kontaktne površine

Prethodnim razmatranjem /9/ uticaja defleksionih otpora na promenu sile na poteznici i efikasnost vuče, bez razmatranja ostalih uticaja, kao što je površina otiska, konstatovane su bolje vučne osobine *pneumatika 1* u odnosu na *pneumatik 2* na tvrdim i sabijenim podlogama. Eventualno veća kontaktna površina (tj. njena dužina) *pneumatika 1* na mekoj podlozi svakako bi značila da su njegove vučne sile i efikasnost vuče veći nego kod *pneumatika 2*, bar u onoj meri koliko to omogućuju manji defleksioni otpori.

Na osnovu neposredno izmerenih dimenzija otisaka pneumatika (*Sl. 2 i Sl. 3*), uočljivo je da je za ceo razmatrani dijapazon pritisaka vazduha i vertikalnih opterećenja širina otiska *pneumatika 1* manja, a dužina veća. Ovo ukazuje da će ukupni otpori kretanja *pneumatika 1*, čiji su defleksioni otpori manji, izvesno biti manji na svim podlogama.



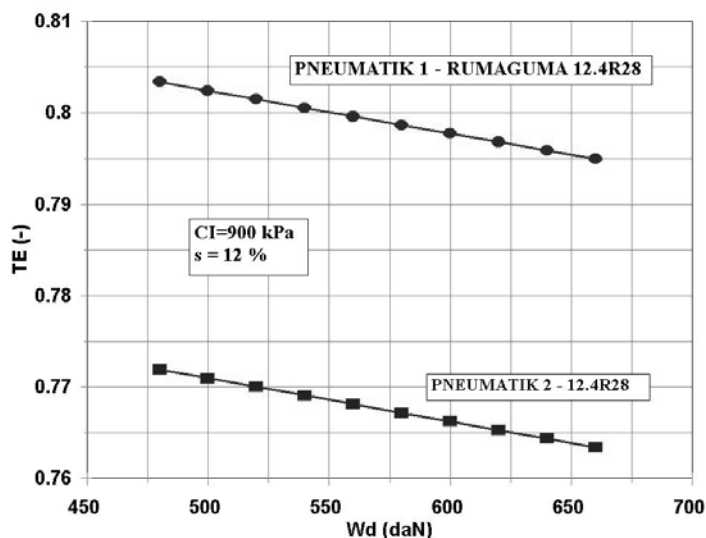
*Sl. 2 Zavisnost dužine kontaktne površine na mekoj podlozi od pr. vazduha i vert. opterećenja*



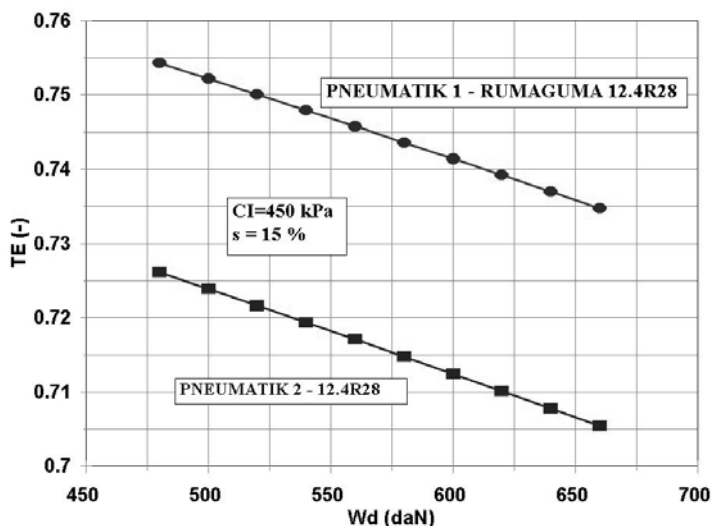
*Sl. 3 Zavisnost širine kontaktne površine na mekoj podlozi od pr. vazduha i vert. opterećenja*

### *Efikasnost vuče na uzoranoj i mekoj podlozi*

Putem numeričkog modela vuče prema ASAE D497.4 /4/, /1/, za slučajeve preraspodele opterećenja pogonskog točka 480-660 daN, pri optimalnom klizanju /2/ traktora IMT 539 određena je efikasnost vuče za nesabijene poljoprivredne podloge (uzorana, CI=900 kPa ; meka, CI=450 kPa).



Sl. 4 Efikasnost vuče za pneumatike sa različitim defleksionim otporom na uzoranoj podlozi pri optimalnom klizanju



Sl. 5 Efikasnost vuče za pneumatike sa različitim defleksionim otporom na mekoj podlozi pri optimalnom klizanju

Dobijene zavisnosti ukazuju da bi korišćenje *pneumatika 2* umesto *pneumatika 1* dovelo do smanjenja efikasnosti vuče razmatranog traktora za cca 4 % na uzoranoj i mekoj podlozi. Ovo smanjenje je minimalno utvrđeno s obzirom na povoljniji oblik otiska *pneumatika 1*, čija je širina manja a dužina veća za ceo realni dijapazon osovinskih opterećenja i odgovarajućih pritisaka vazduha. Navedeno ukazuje da je pokazatelj vuče korišćenjem pneumatika sa manjim defleksionim otporima i većom (ili istom) a užom kontaktnom površinom, moguće poboljšati na svim podlogama.

## ZAKLJUČAK

Činjenica da otpori kotrljanja točka po čvrstoj podlozi zavise od konstrukcije pneumatika, pruža mogućnost izbora onog pogonskog pneumatika koji će imati najmanje vrednosti ovih otpora. Kao deo otpora kretanja koji je relativno lako izmeriti, razmatran je samo defleksioni otpor. Pri ovome je utvrđeno da se bolji pokazatelji vuče mogu očekivati kod pneumatika koji pored manjih defleksionih otpora imaju iste ili veće kontaktne površine koje su posledica njihove veće dužine. Numeričkom proverom efikasnosti vuče traktora IMT 539, u zavisnosti od toga koji od ispitivanih radijalnih pneumatika bi se koristio na uzoranim i mekim poljoprivrednim podlogama, ostvarena efikasnost vuče, a time i potrošnja goriva, razlikovala bi se minimalno za 4%. Ovi rezultati ukazuju i na potencijalno veće razlike koje bi se ostvarile u okviru većeg broja pneumatika različitih proizvođača a istih dimenzija.

Mogućnost korišćenja prikazanog načina izbora pogonskih pneumatika putem određivanja defleksionih otpora i parametara kontaktne površine odnosi se na sve korisnike poljoprivrednih traktora prilikom izbora pneumatika pogonskih točkova. Na ovaj način izabrani pneumatici doveli bi do povećanja efikasnosti vuče. Efikasnost vuče rasla bi sa povećanjem vertikalne nosivosti podloge i bila bi najveća na tvrdim podlogama.

## LITERATURA

- [1] Al-Hamad, S.A., Grisso, R.D., Zoz, F.M., Von Bargen, K. (1994): TRACTOR PERFORMANCE SPREADSHEET FOR RADIAL TIRES, *Computers and Electronics in Agric.*, 10(1): 45-62.
- [2] Ali, S.O., McKyes, E. (1978): TRACTION IMPROVEMENT IN LUGGED TIRES FOR FARM VEHICLES, ASAE Technical Paper No.78-1038.
- [3] APPROVAL OF PNEUMATIC TYRES FOR AGRICULTURAL VEHICLES AND THEIR TRAILERS, E.C.E. Regulation No.106, Issue 1, DEC/2000.
- [4] Ashmore, C., Burt, C., Turner, J. (1987): AN EMPIRICAL EQUATION FOR PREDICTING TRACTIVE PERFORMANCE OF LOG-SKIDDER TIRES, *Transactions of ASAE*, 30(5): 1231-1236.
- [5] Bekker, M.G. (1969): INTRODUCTION TO TERRIAN-VEHICLE SYSTEMS, Ann Arbor, The University of Michigan Press.
- [6] Dong, R.L., Kyeong, U.K. (1997): EFFECT OF INFLATION PRESSURE ON TRACTIVE PERFORMANCE OF BIAS-PLY TIRES, *Journal of Terramechanics*, Volume 34, Issue 3, 187-208.
- [7] ENGINEERING DESIGN INFORMATION (2000): ETRTO – European Tyre and Rim Technical Organistaion, Brussels.



- [8] Muzikravić V., Milidrag S., Časnji F. (1998): ZNAČAJ OPTIMIRANJA PRITISKA VAZDUHA U PNEUMATICIMA POLJOPRIVREDNIH TRAKTORA, NMV-98, "Motorna vozila i motori", Kragujevac, 223-226.
- [9] Muzikravić V. (2006): DEFLEKSIONI OTPORI POGONSKIH PNEUMATIKA POLJOPRIVREDNIH TRAKTORA I NJIHOV UTICAJ NA VUČU NA TVRDIM I SABIJENIM PODLOGAMA, Poljoprivredna Tehnika 31(2006)1, str. 121-129, Zemun.
- [10] Wong, J.Y. (1991): THEORY OF GROUND VEHICLES, New York: A.Willey - Intersciene Publication.

## **AGRICULTURAL TRACTOR'S TIRE RESISTANCE DUE TO THE DEFLECTION AND IT'S INFLUENCE ON TRACTION ON AGRICULTURAL SOILS**

**Vladimir Muzikravić, Dragan Ružić, Nenad Poznanović**

*FTN - Departman za mehanizaciju i konstrukciono mašinstvo - Novi Sad*

**Abstract:** The paper discusses in what degree the usage of agricultural tractor tires with lower rolling resistance can benefit in traction. The component of the rolling resistance due to deflection that depends on tire design characteristics and that considerably easy can be measured is analyzed.

The resistance of tires due to the deflection and footprint characteristics for tires 12.4R28 made by different manufacturers was determined experimentally. Using numerical traction model, influence of measured values on the tractor's tractive performance was analyzed. Obtained results show significant difference of deflection resistance for tested tires and imply that tire selection for agricultural tractors, among other criterions, may be based on selection of tires with lower rolling resistance and longer footprint. For two tested tires obtained difference for tractive efficiency was about 4 % for tilled and soft soils.

**Key words:** *rolling resistance, tire deflection, footprint, traction.*